

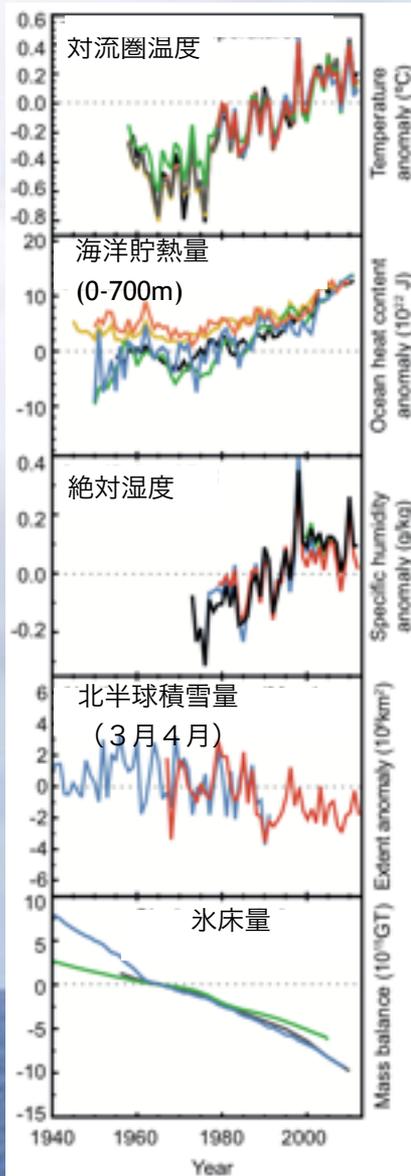
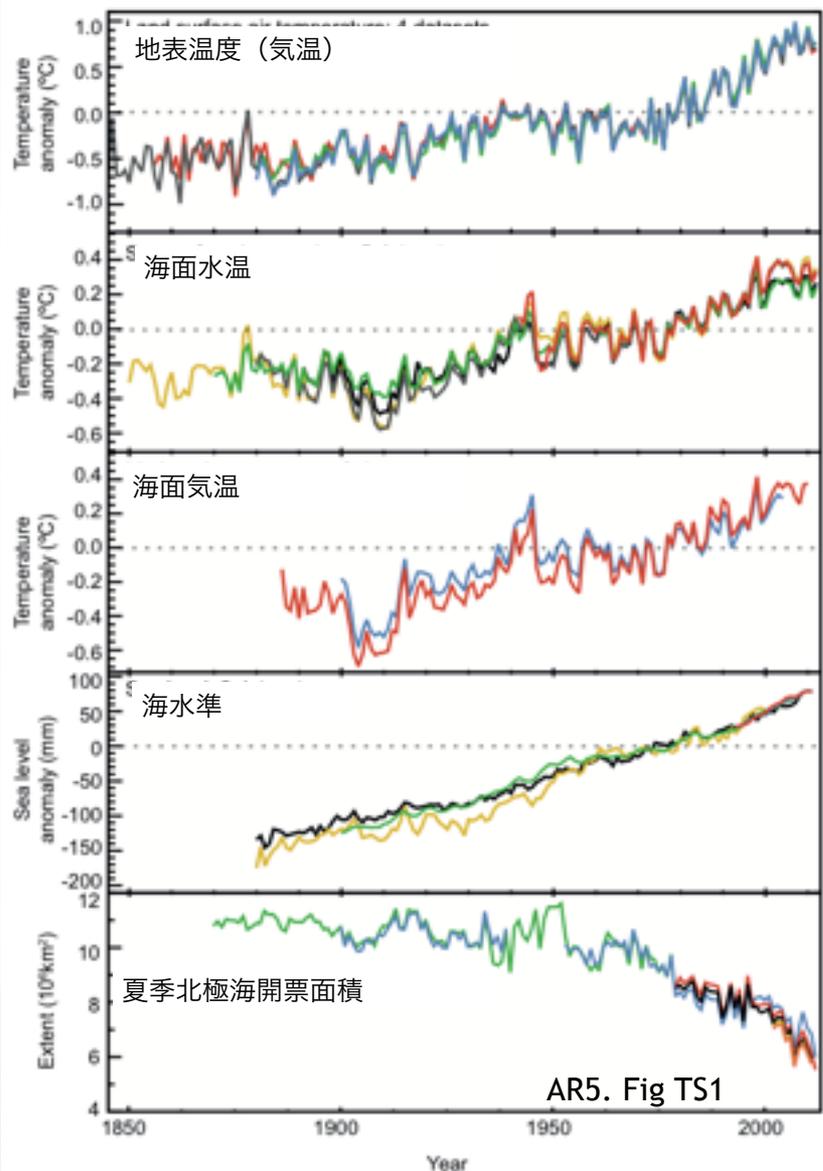
# 地球環境科学をささえる海洋観測 —現状と展望—

海洋研究開発機構

深澤 理郎

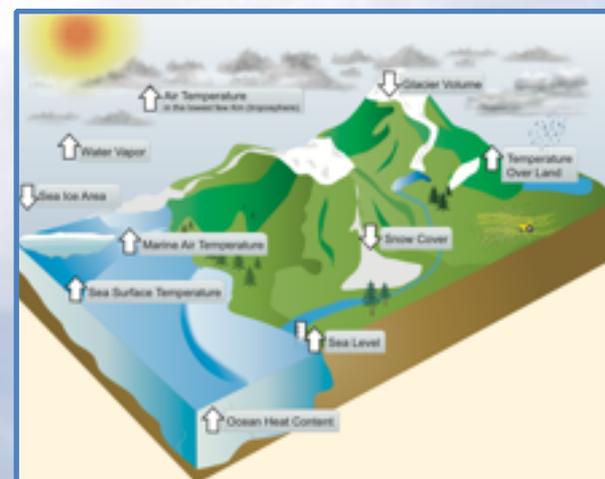


# 地球温暖化の顕在化とその予測



## IPCC 5次報告

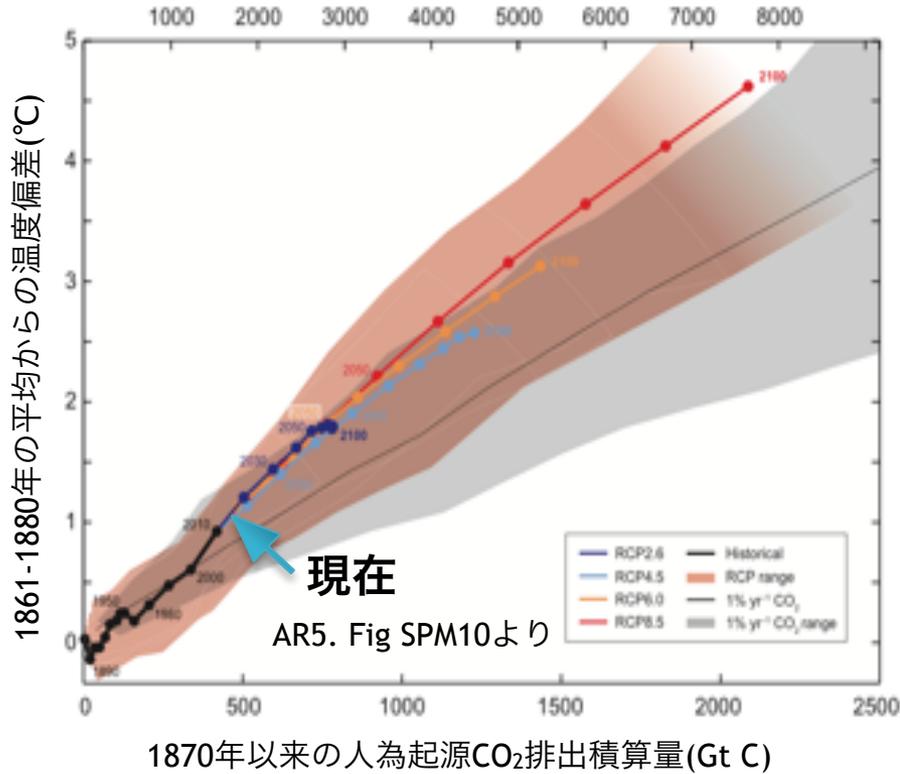
### 温暖化の10項目の指標



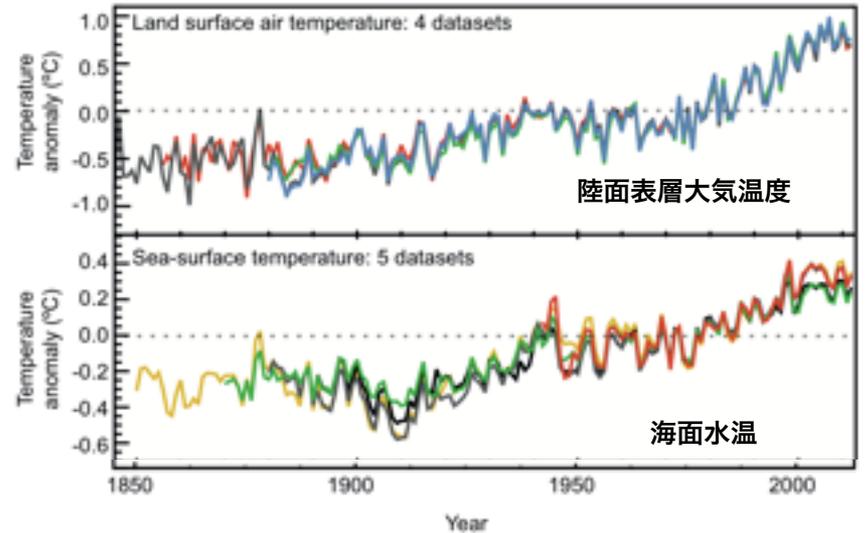
→ 全てが1980年以降は共通して地球温暖化の進行を示す結果

# 地球温暖化の顕在化とその予測

1870年以來の人為起源CO<sub>2</sub>排出積算量(Gt CO<sub>2</sub>)



「地球温暖化」は  
人為起源二酸化炭素排出量の積算で決まる



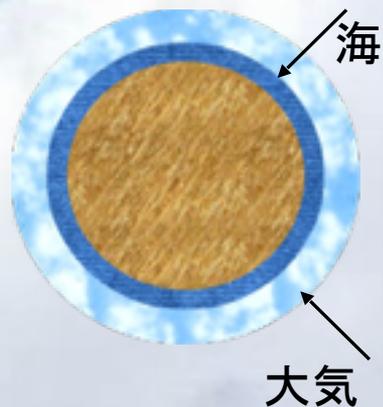
1970年～2010年の「温暖化」

陸域表面大気昇温    ~1.0°C  
海面昇温                ~0.3°C

- 地球温暖化に伴って海面の水温も上昇トレンドを示している。
- 海水温の上昇トレンドは、海面付近ですら全球表面の1/3程度である。

# 全球熱分布への海洋の寄与

## 海と大気の熱的効果



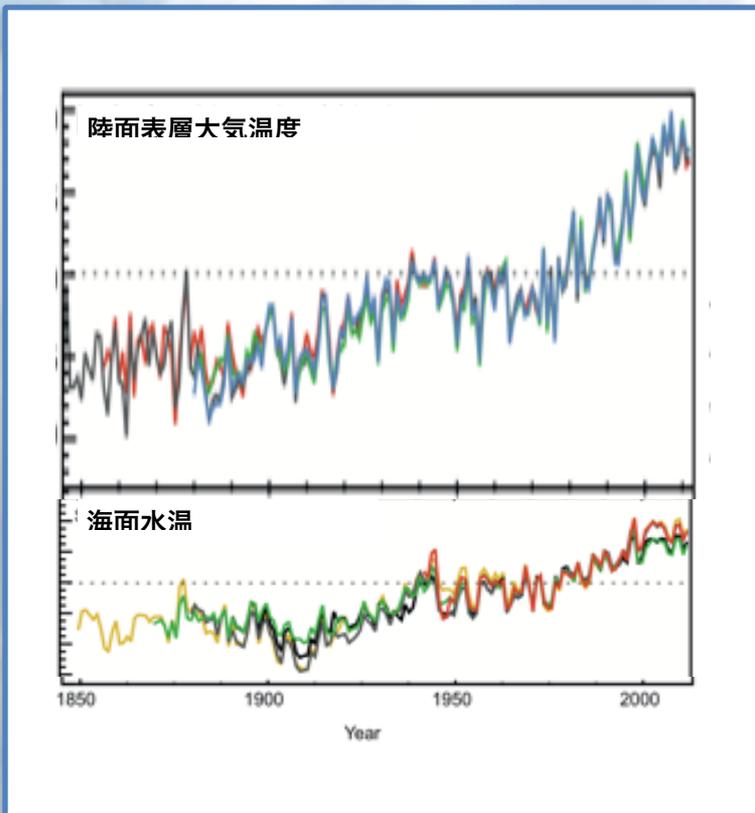
海水の総量	$1.4 \times 10^{21}$ kg
大気の総量	$5.0 \times 10^{18}$ kg
海水の比熱	3.9 J/gK
大気の比熱	1.0 J/gK

熱容量[大気全体/海水全体]=

$$\frac{5.0 \times 10^{18} \times 10^3 \times 1.0}{1.4 \times 10^{21} \times 10^3 \times 3.9} = \frac{5.0 \times 10^{21}}{5.5 \times 10^{24}} = \mathbf{1 / 1000}$$

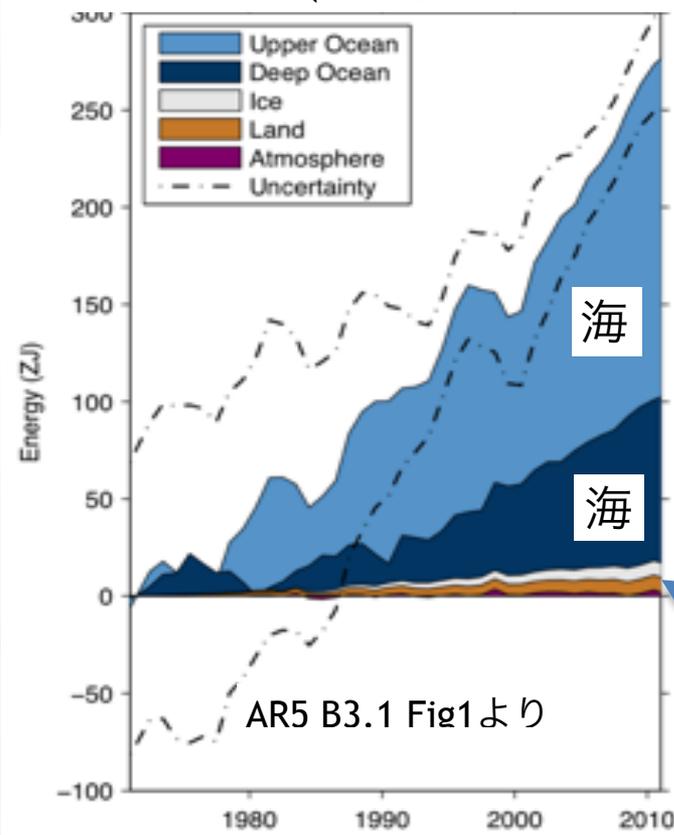
# 全球熱分布への海洋の寄与

## 海と大気の熱的効果



全海水の熱容量は大気の約1000倍。  
海水は大気に比べてとても温まりにくい。

地球系熱量の変化(1970年を0としてある)



海の熱量増加は地球全体の熱量増加の9割以上を占める

- 地球系熱量変動を**気候変動の指標**として時空間的に捉えたり海流による熱輸送を見積もったりするには時空間分解能が高く、同時に精度の高い観測が必要

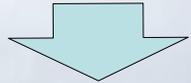


# 気候変動研究を意識した海洋観測のさきがけ：WOCE

気候変動研究の基盤となるプログラムの必要性の認識

1980年：

WCP(世界気候計画)のサブプログラムとしてWCRP(世界気候研究計画)がスタート  
スポンサーシップ；世界気象機関：WMO 政府間海洋学委員会：IOC  
国際科学会議：ICSU 国連教育科学文化機関：UNESCO)



Stream I, Stream II, **Stream III**



**World Ocean Circulation Experiment (WOCE):世界海洋循環実験計画**

1990年～2002年：1990年～1998年 観測/開発phase (実際には1985年から)

1998年～2002年 AIMS /解析、解釈、モデリング、統合/ phase

目的

1. 気候変動の実態を把握するための全海洋データ取得
2. 海洋データ統合モデル (Data assimilation) 技法の開発

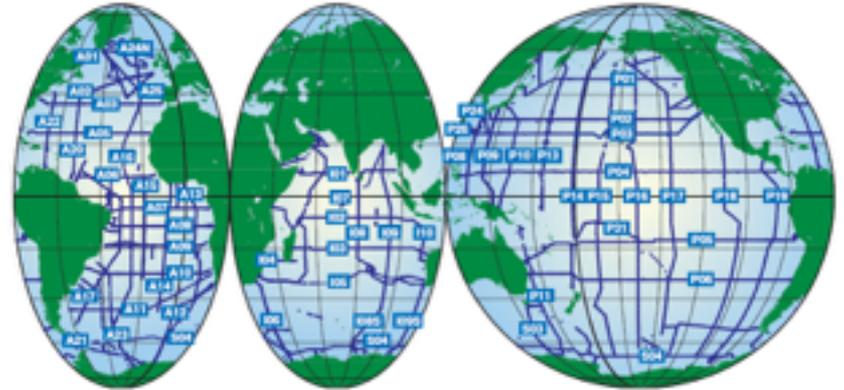
→ 海洋中の熱・真水・物質 (栄養塩、炭素) の総量とその (特に) 南北輸送の確定



# 気候変動予測を目指す海洋観測の黎明：WOCE

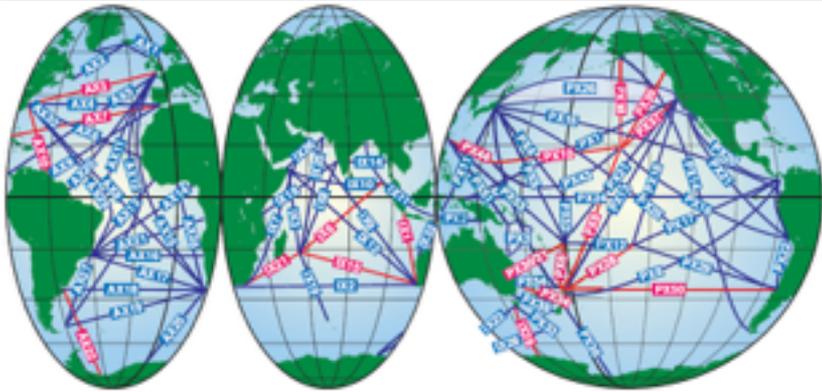
## WOCE Hydrographic Program(WHP) lines

- 大陸間に80本の測線（全12000測点）
- 水温0.001C 塩分0.002
- 測点間隔50km以下
- 分析項目18種(それぞれ精度指定)
- 1年でデータ提出2年で公開



## WOCE XBT lines

- 大陸間に60本の測線
- 測点間隔20km以下
- 年4回（年25000点）
- 半年でデータ公開



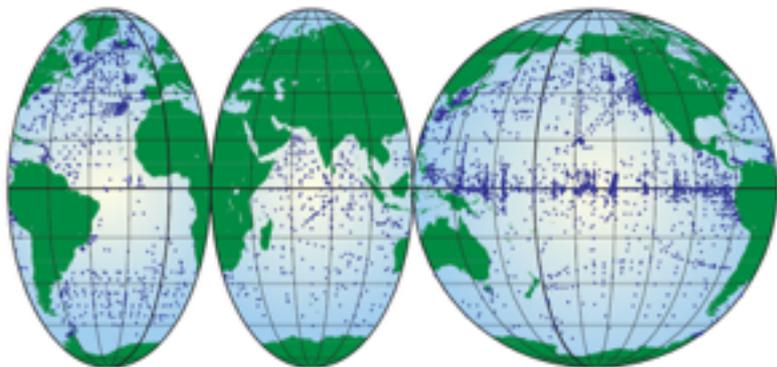
## WOCE計係留アレイ

- 主として西岸強化流に45の係留系アレイ
- 5年以上の継続を推奨
- replace毎にデータの提出（回収後2年で公開）

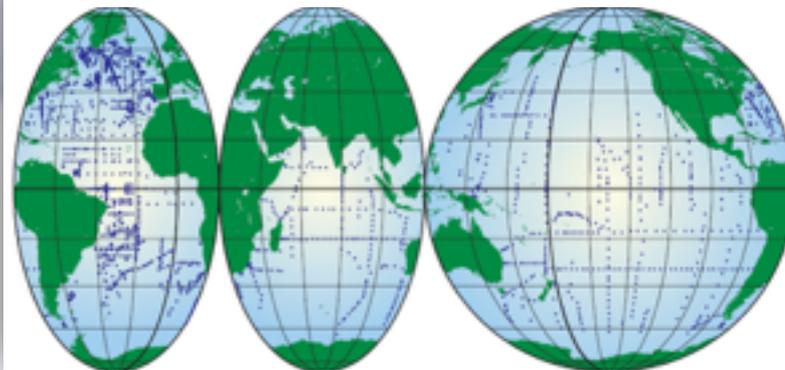


# 気候変動予測を目指す海洋観測の黎明：WOCE

## 海面流速プログラム (Drifter)



## 中・深層測流プログラム (Float)

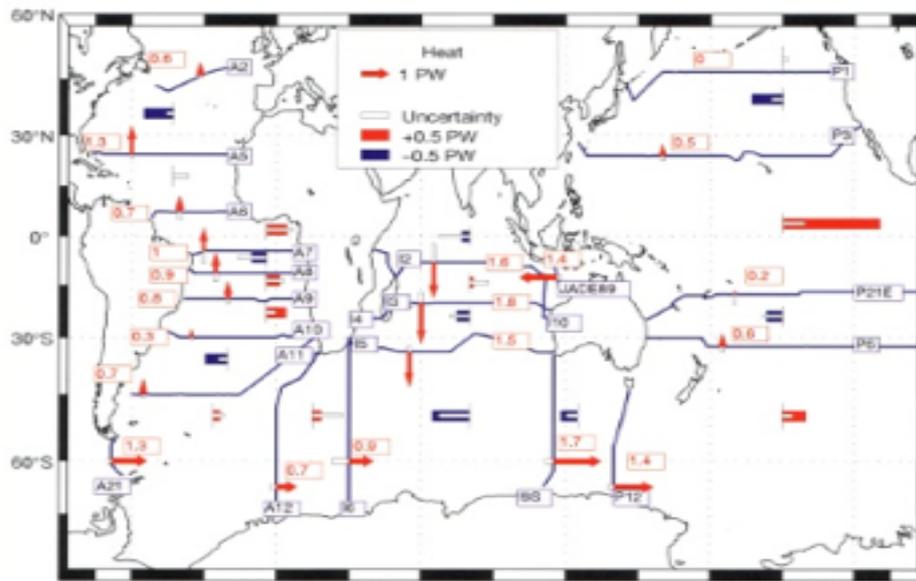


以上の全海洋観測データの  
整合性を確保して解析する



**(成果例) 大循環による 1990年代の  
熱輸送全海洋実測マップ**

WOCE (WHP) + post WOCE全観測  
資料に基づく熱・真水輸送マップは  
2012年にKouketsu et al.によって完成



Ganachaud and Wunsch(2000)

WOCE legacy : 国際協働観測ルールの浸透

それぞれの観測実施と観測結果集積について  
国際的なofficeを作り・・・・

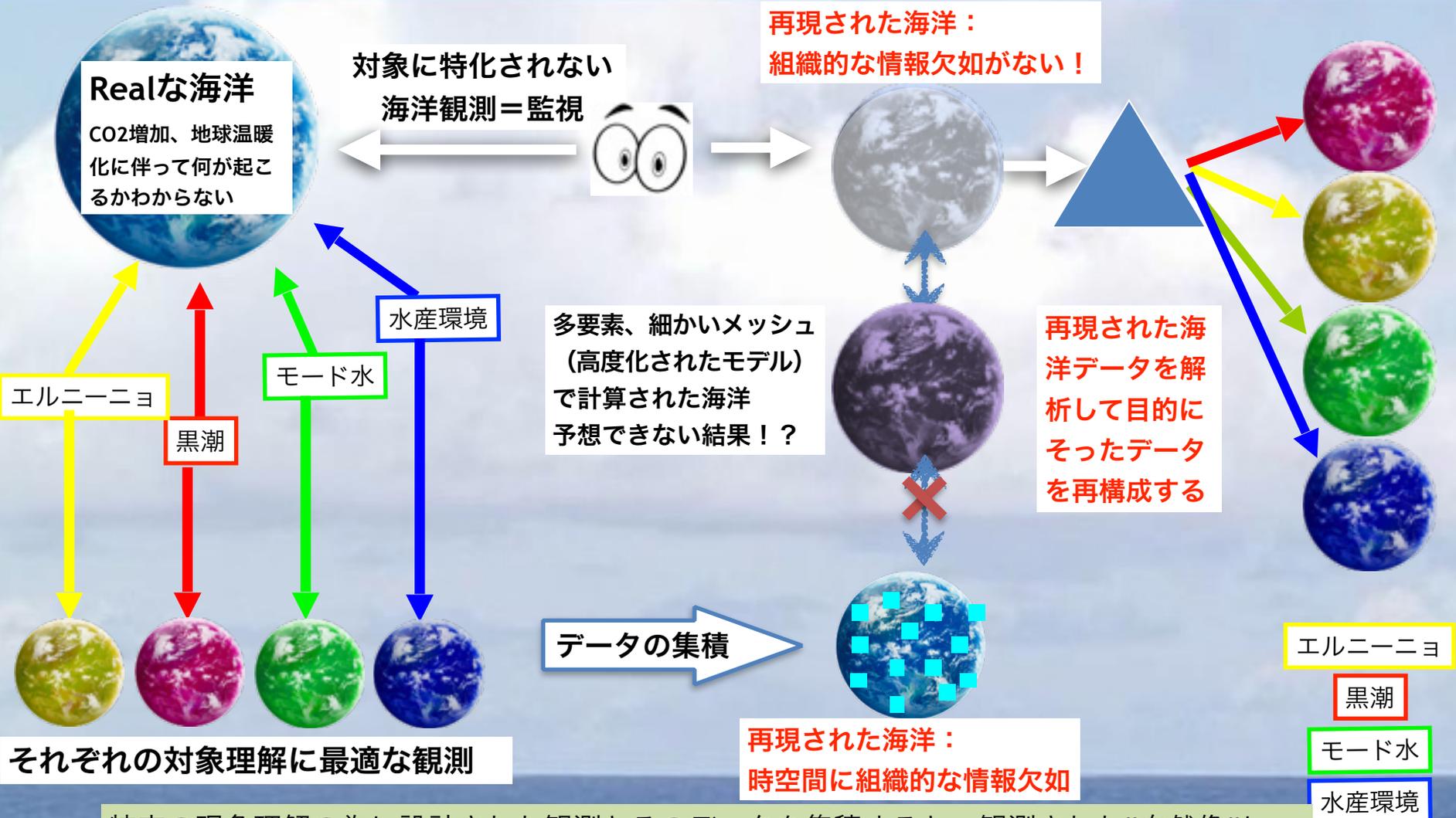
1. 各国間の調整を行い
2. 観測手法の共通マニュアルを作成し
3. 精度と測定値の標準化を行い
4. データの管理、スピーディーな公開を行い



**GOOS の設立 1991** : IOCのTechnical Committee for Ocean Process and Climate  
全球海洋観測システム (TC/OPC) 活動を拡大する

**I-GOOS の形成 1992** : GOOS活動の調整→物理、化学、生物を含め1998年に  
GOOS政府間委員会 GOOS戦略計画と展望を公開

# WOCEから引き継がれた観測概念の変革 /観測から監視へ/



特定の現象理解の為に設計された観測とそのデータを集積すると、観測された”自然像”に組織的な情報欠如が生じる。高度化された予測モデル等の結果に対する検証に使いにくい。特定の現象の理解ではなく、ありのままの海洋を”監視”する手法、観測設計の模索

# WOCEから引き継がれた観測概念の変革 /観測から監視へ/

## 2000年以前から存在した主な観測手法

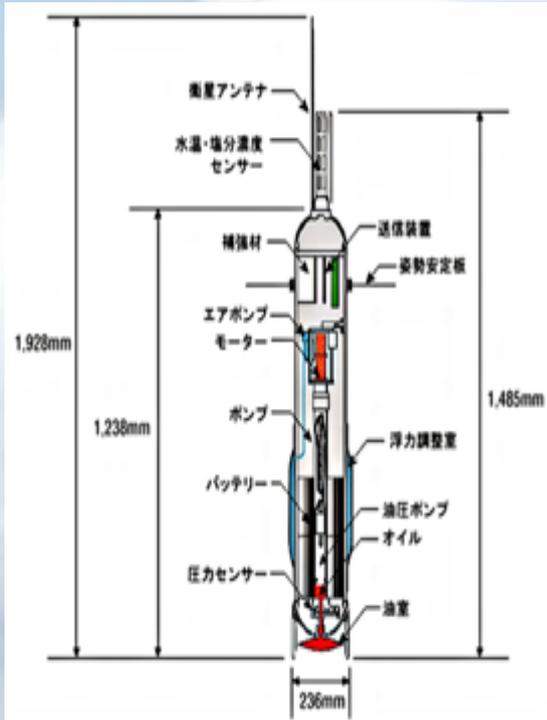
- **観測船による観測** : 多項目・高精度、航路に沿って高密度、海面から海底まで、**時間的同時性は低い、大きな投資と人的資源**
- **海面漂流ブイ観測** : 空間的に広い観測、時間的に同時性有り、**海面のみ**)
- **測器係留観測** : 多項目・時系列観測、**空間的に疎**
- **篤志船XBT観測** : 安価、航路に沿って高密度、**時空選択の自由度が低い**
- **衛星による観測** : 地球の表面を広域的にカバー、同時性が高い、アルタイムなデータ取得の可能性、**海面のみのデータが主、精度確保に海洋 (Sea truth) が必要、超巨大な投資、データ公開上での困難**

それぞれの観測手法について、特長はできるだけ残し、**欠点のみ**を回避する。  
空間的に密、時間的に密、広い空間をカバーし、データに同時性、海洋内部構造を計測、生物地球科学的項目も計測

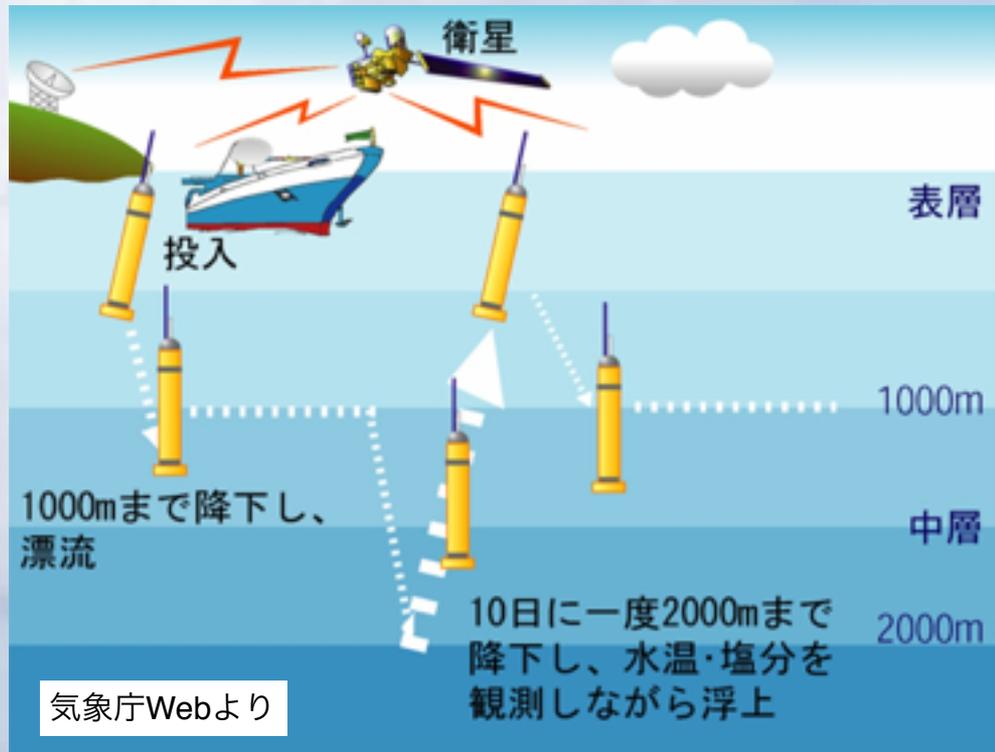


答えの一つとしてのArgo float

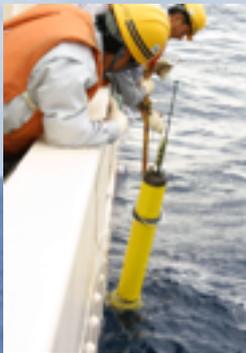
# Argo float



JAMSTEC Argo Webより

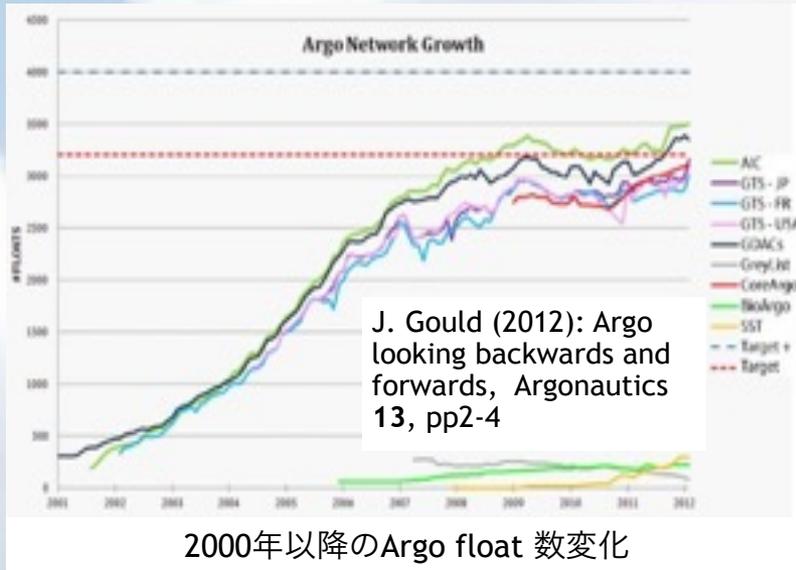


気象庁Webより



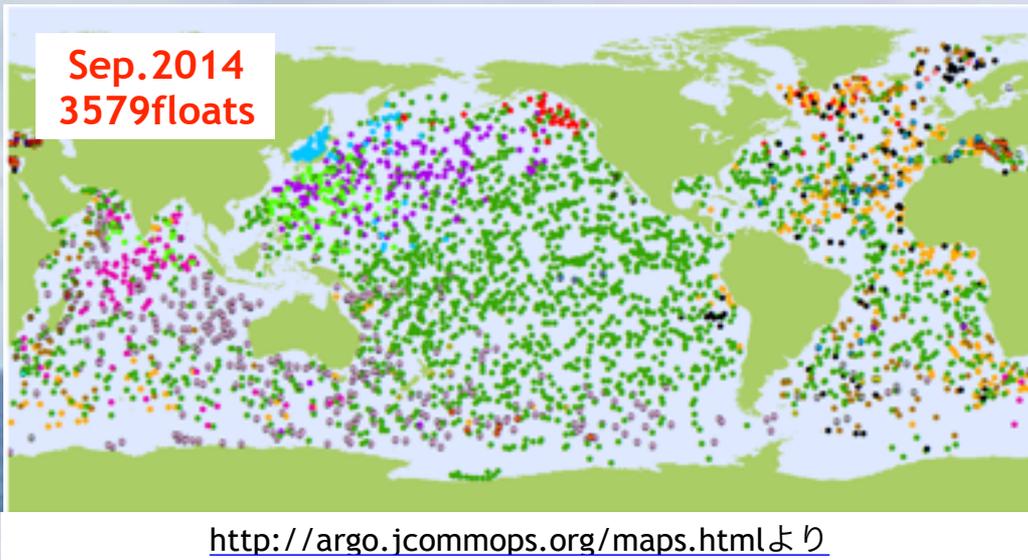
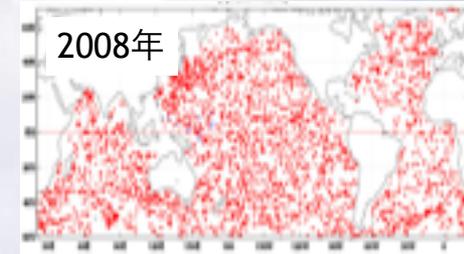
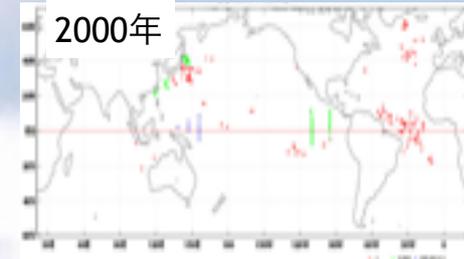
- 低価格 (コストパフォーマンス) ⇒ 数を増やせる 頻繁に観測を繰り返せる (密な時空間)
- 浮いたり沈んだりできる ⇒ 海の内部構造を測れる
- 衛星経由でのデータ通報 ⇒ リアルタイムの観測 (同時性)
- 新たなセンサーを開発・搭載 ⇒ 多くの項目を観測できる???

# Argo float

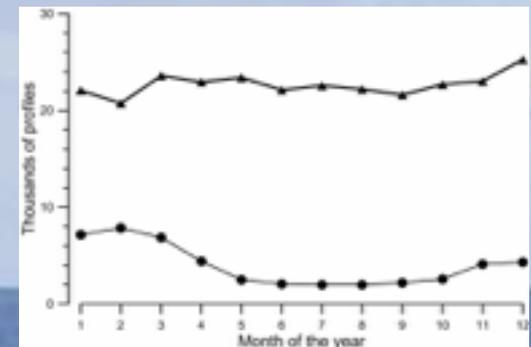


2000年に公式放流が開始され、フロート数は2008年に3500\*を超えた

3500：全海洋でフロート間が300kmとなる個数



特に南大洋（60度以南）では、冬季の観測数が一気に増加した



Courtesy of H Freeland (2013)

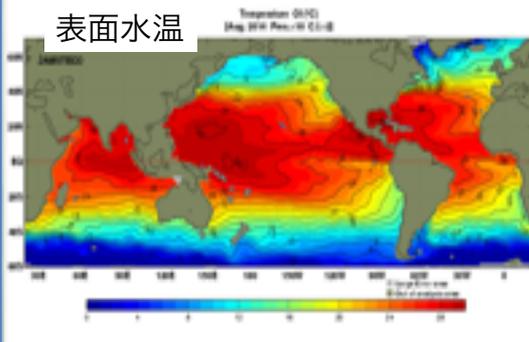
南大洋における2008-2012での毎月平均観測数とArgo以前の平均観測数

# Argo floatからのデータproducts

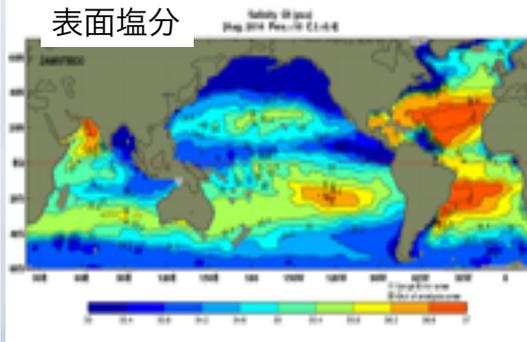
10日毎に3000点からのデータが集積される→real timeでも使えるが品質管理されたデータは約1ヶ月後に準備される。以下は太平洋Argoセンター（PARC）で作成され公開されているproductsの例。

2014年8月の例

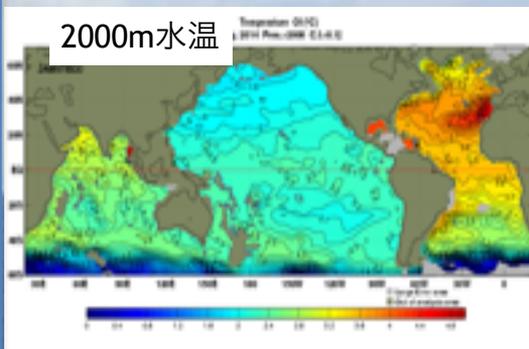
表面水温



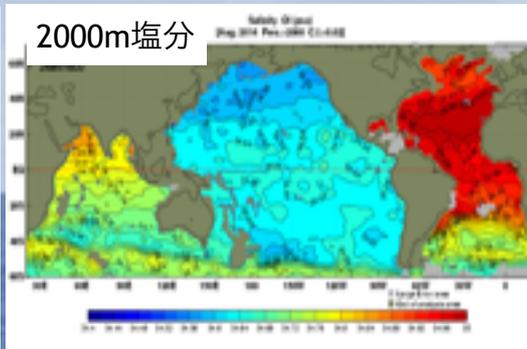
表面塩分



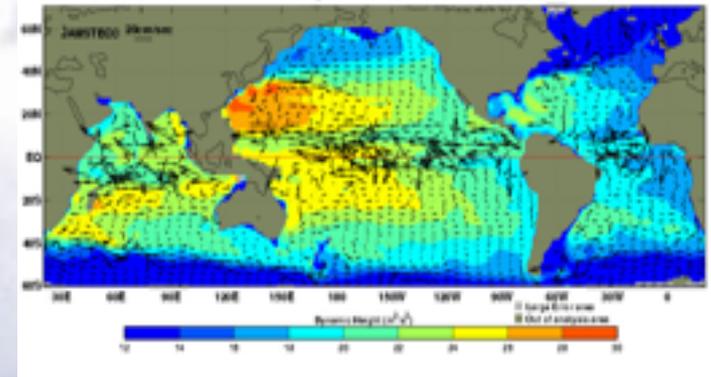
2000m水温



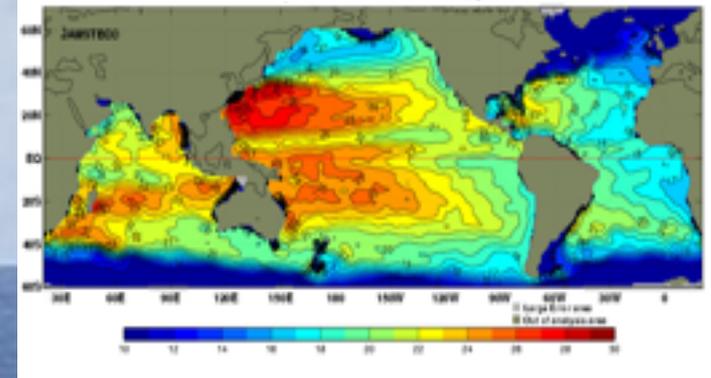
2000m塩分



10mでの地衡流（2000m準拠）



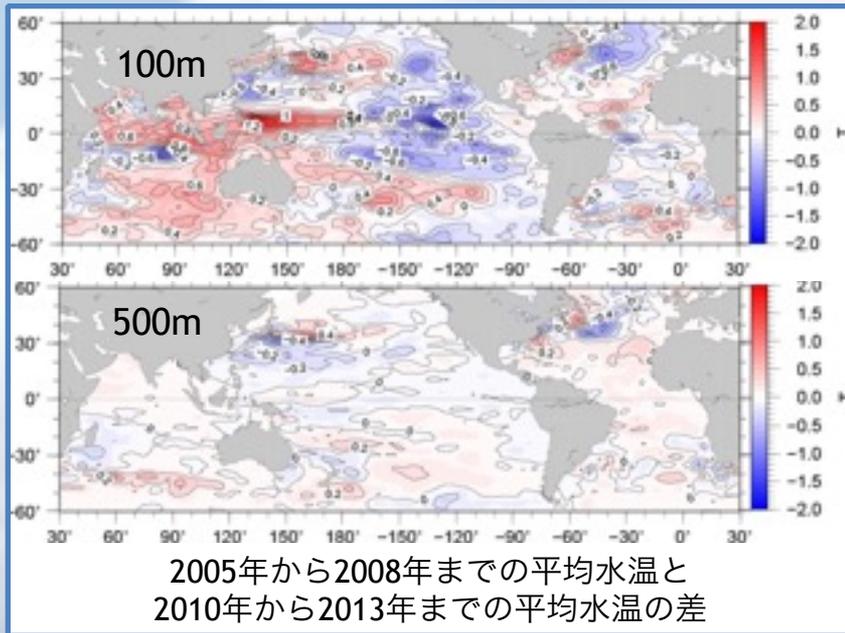
海面力学高度（2000m準拠）



<http://www.jamstec.go.jp/ARGO/>

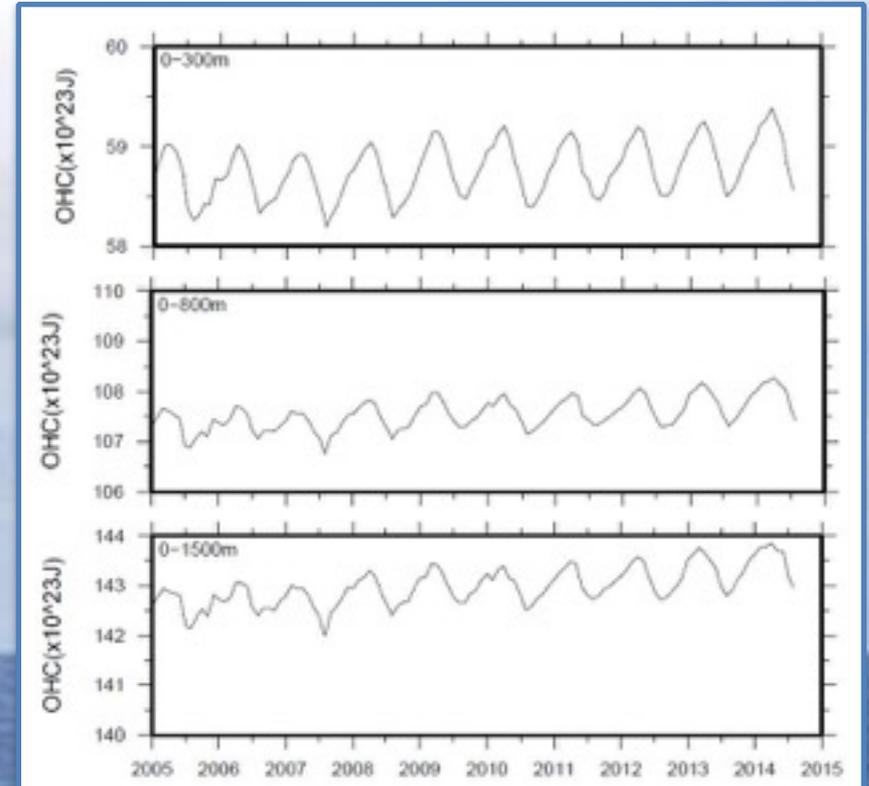
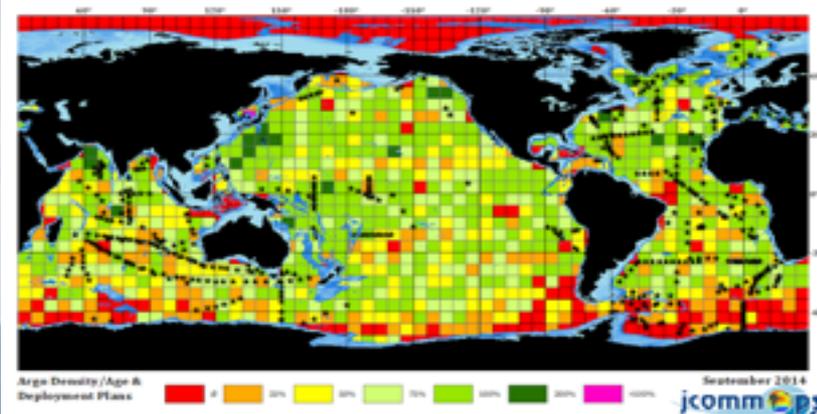


# Argo floatからのデータproducts



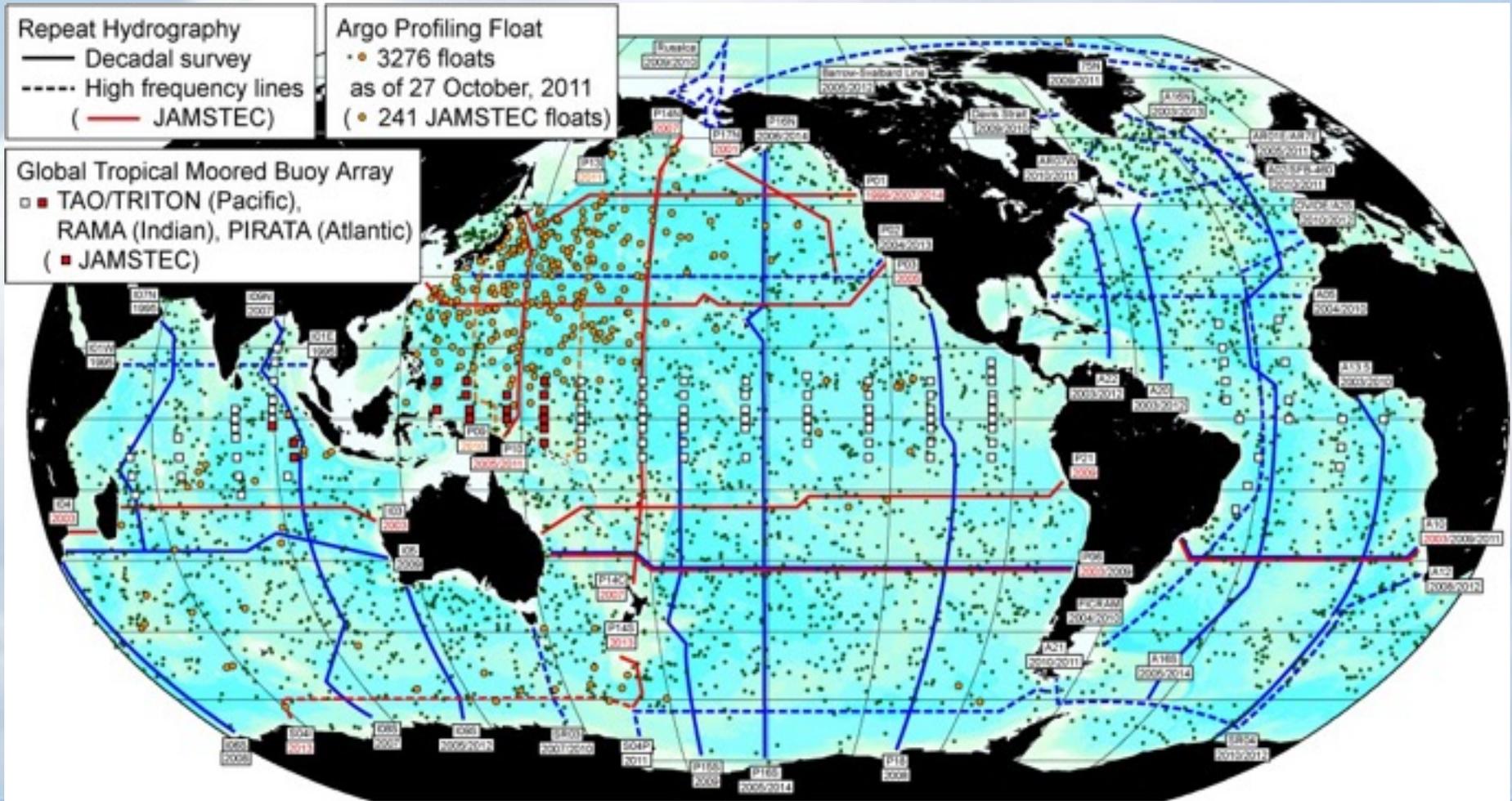
水温、塩分の気候的な変化を監視することについては強力なツールになっている。

しかし全球での「絶対量」特に貯熱量を監視するには北極海、南氷洋が時空間的に密な観測の空白域になっていること、全海洋観測網としては歴史が浅い事がありArgo float のデータだけでは不十分



2005年1月から2014年8月までの月毎『全海洋』貯熱量

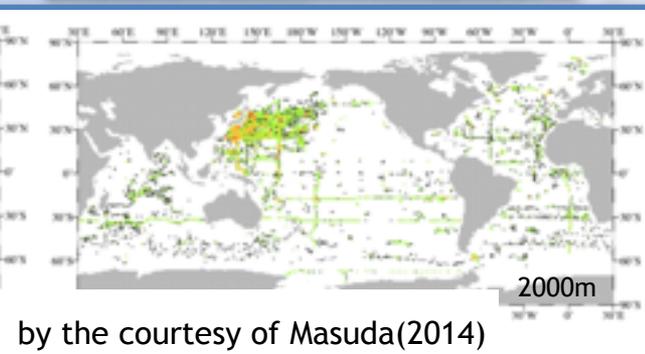
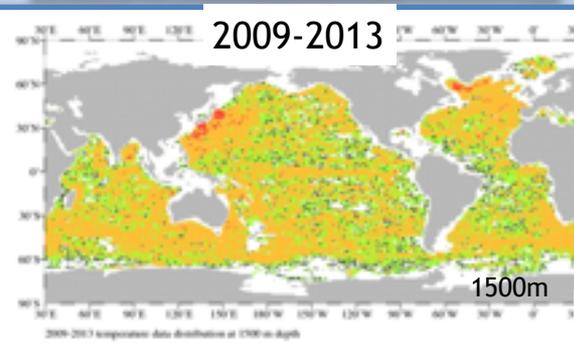
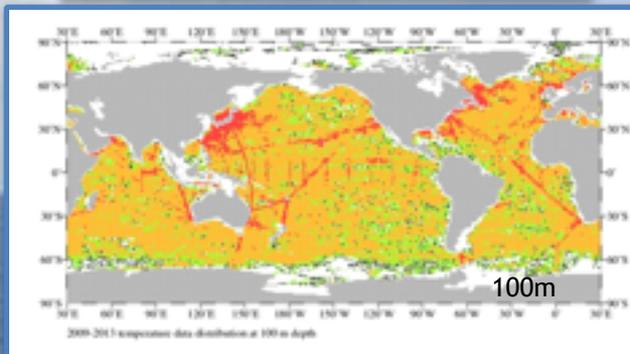
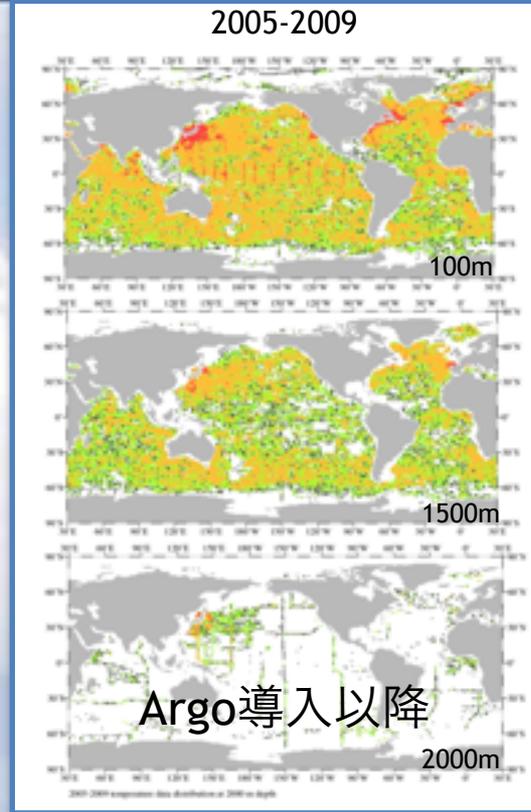
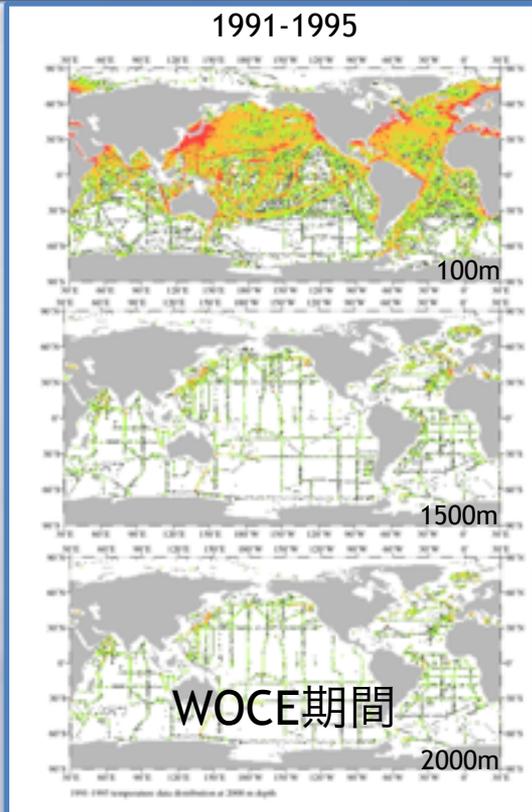
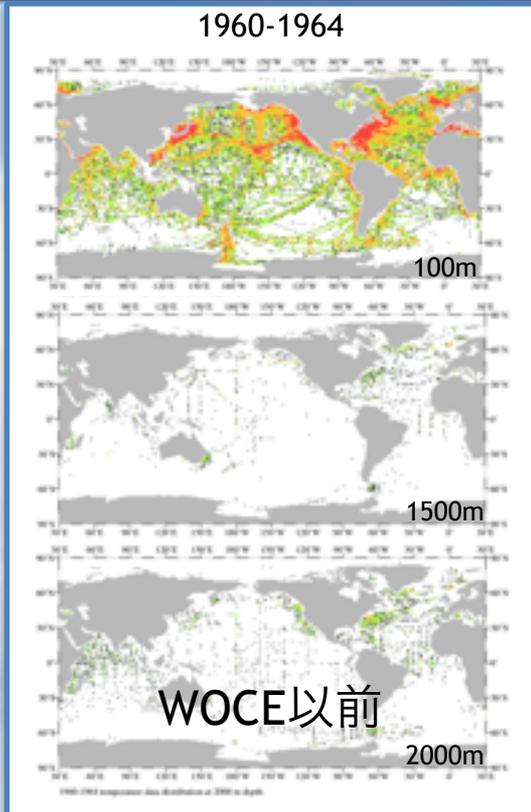
# GOOSの観測活動（全球モジュールのみ）



2011年\*時点でのGOOS関連観測の種類と分布 ただし沿岸検潮所は記載されていない。  
 \*後述のArgo floatの数が3000を超えた年



# Argo floatからのデータと他のデータとの統合

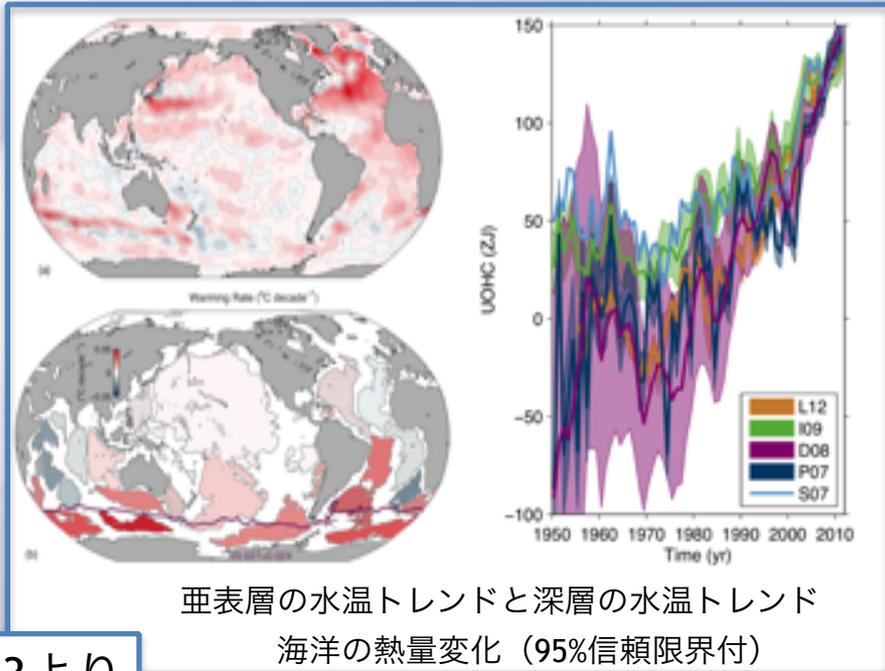
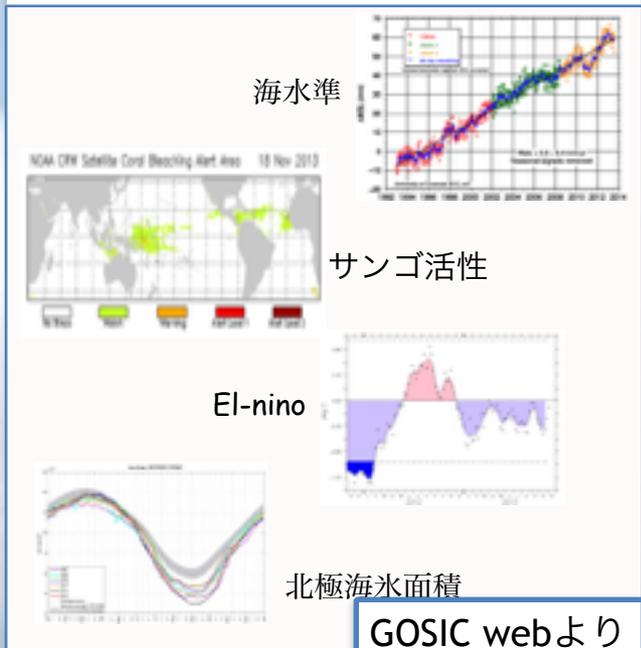


by the courtesy of Masuda(2014)

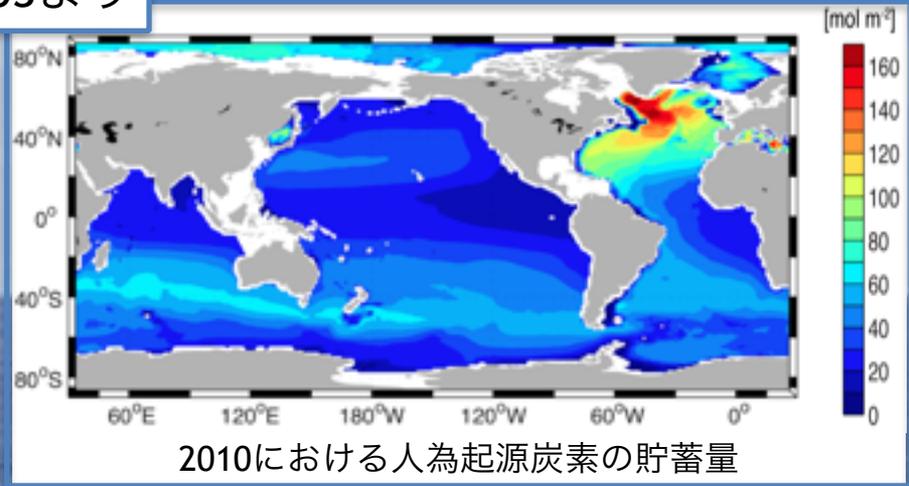
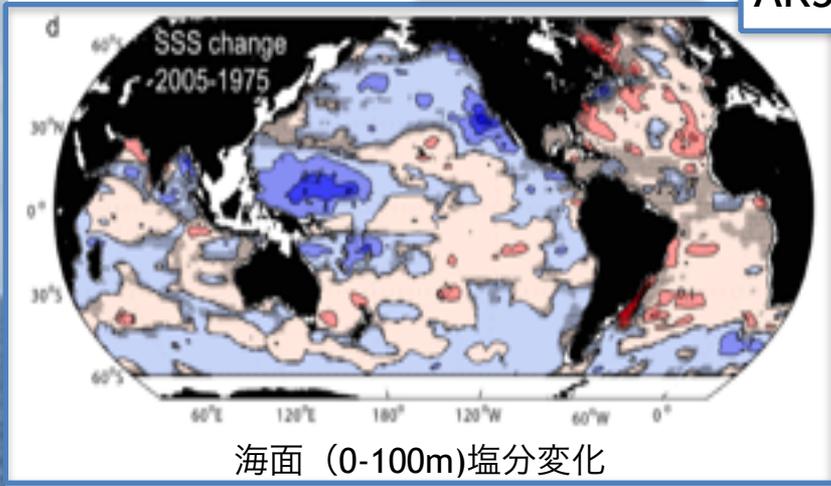


# GOOSで共有されたデータからのproducts例

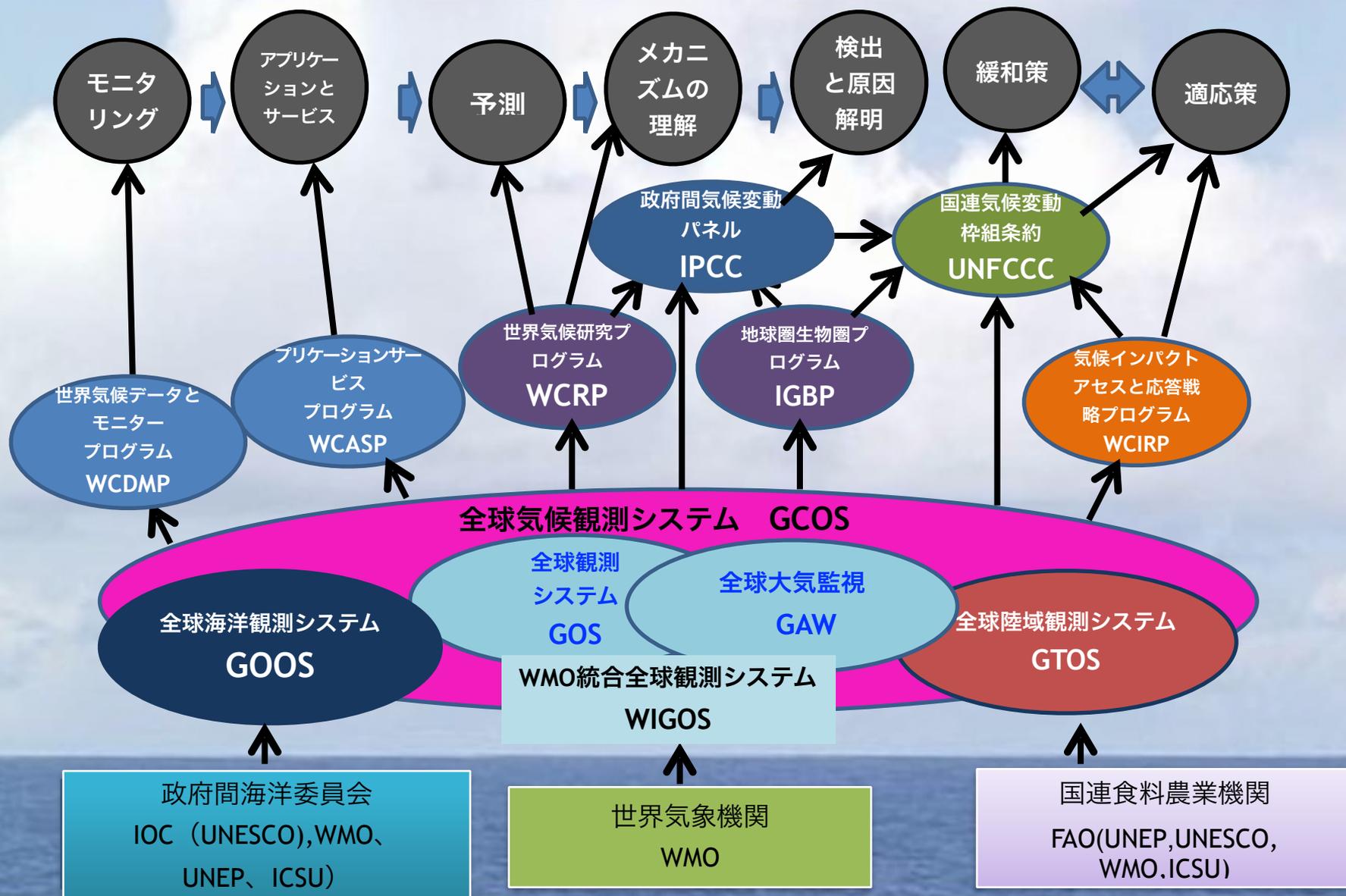
## GOOS-Watch



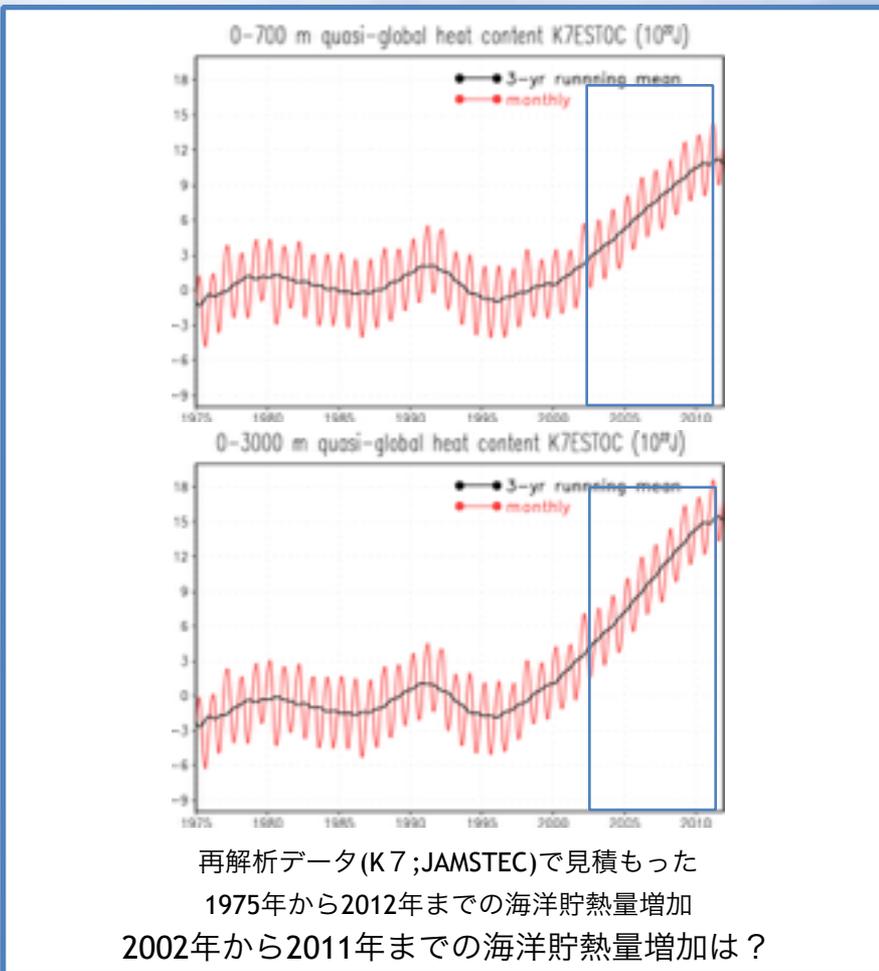
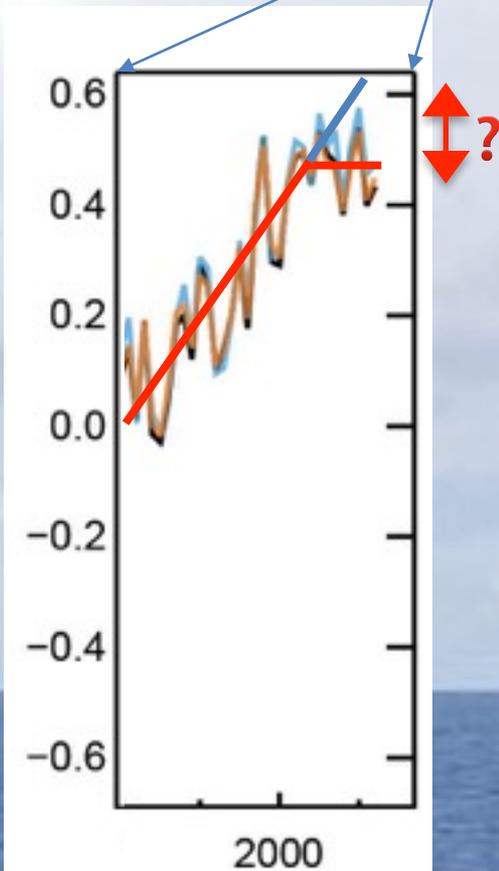
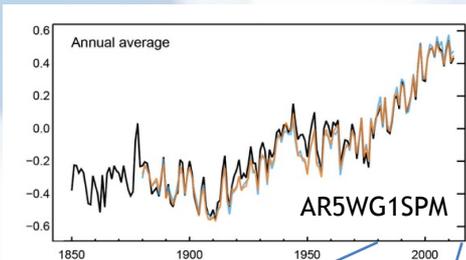
## AR5 Chap3より



# 気候監視と社会とのつながり（全球気候サービス枠組GFCS）



# Hiatus関連のトレビア



0-700m :  $9 \times 10^{22} \text{J}$  → 大気換算で18°Cの変化に相当  
0-3000m:  $10 \times 10^{22} \text{J}$  → 大気換算で20°Cの変化に相当

海洋が吸収した熱はどこから来たのか？

# まとめと今後の展望（希望）

## 今後の展望

- 海洋観測は気候・環境変動を認識するために重要な活動であり、「監視」と「研究」の要素を同時に充足できることが望ましい。
- 海洋「監視」としての観測設計は、予測モデルの性能進化を考慮に入れる必要がある。  
時空間密度、カバーする海域について、千年スケール、全球規模から数時間スケール、10kmスケールまで包含できるブロードなスペクトル幅を持つ「監視」手法開発が必要。  
特に後者は海洋観測のdriving forceが気候情報サービスから、より具体的な社会要求（例えば、海洋観測の基本項目として、従来のECV/主要気候変数/からOCV/海洋気候変数/等、より化学、生物項目を取り込もうとしていること、水産、coastal managementが海洋観測のdriving forceとしてあらわに主張されていること）に変化しつつあることへの対応に不可欠。
- 海洋「監視」手法として「Argo」が成功している理由を十分に理解しさらに進化させる必要がある。これは新たな観測手法の開発にとどまるものではない。  
特に、データ管理、公開の国際的な合意の推進とその枠組みの形成方法が重要（新たに開発される機器からのデータ管理、公開。純粋に科学ベースの観測データの取り込み。特にABS国際協定下での生物化学データ取得と公開推進可能性。「科学指向」観測データの精度管理、公開に関する制度としての枠組み構築）。
- 新たな機器開発の重要性  
既存の機器（例えばArgo float）の改良、改変のみではなく、新たな発想に基づく機器や観測手法の開発。季節氷海でのデータをどのように取得するか。

